

ALMA MATER STUDIORUM - UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

SCUOLA DI INGEGNERIA E ARCHITETTURA

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA INDUSTRIALE

CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA ENERGETICA

TESI DI LAUREA

in
Radioprotezione T

**MODELLO ACTIVITY-ORIENTED PER LA GESTIONE
DELLA RADIOPROTEZIONE DI UNA AZIENDA
SANITARIA**

CANDIDATO
Luca Agnoletti

RELATORE:
Prof. Ing. Domiziano Mostacci

CORRELATORE:
Dott. Gianluigi Giorgetti

Anno Accademico 2015/2016

Sessione I

Indice

Indice	3
1 Introduzione	5
2 La radioprotezione in tema di radiazioni ionizzanti	7
2.1 Il periodo della "Livellazione"	10
2.2 Il periodo dell'ALARA	15
2.3 Il periodo dei tre pilastri	18
3 Materiali e metodi	27
3.1 Schede dati	27
3.1.1 Locali	27
3.1.2 Macchinari	28
3.1.3 Attività	29
3.1.4 Lavoratori	30
3.2 Calcolo della stima di dose	31
4 Sviluppo del progetto	37
4.1 Raccolta dati e compilazione record	38
4.1.1 Locali	38
4.1.2 Macchinari	39
4.1.3 Attività	40
4.1.4 Lavoratori	42
4.2 Struttura dati	43

4.3	Monitoraggio dosimetrico	43
5	Risultati	45
5.1	Vantaggi riportati per l'utilizzo di un modello informatico	45
5.1.1	Formazione dei nuovi lavoratori classificati	47
5.1.2	Ispezioni nei reparti con frequenza maggiore	48
5.2	Vantaggi riportati per l'utilizzo di un modello activity-oriented . . .	49
5.2.1	Dacriocistografia	50

Capitolo 1

Introduzione

In questo elaborato si vuole presentare un modello innovativo per la gestione della radioprotezione di una azienda sanitaria. Alla base delle analisi di radioprotezione si potrebbero considerare quattro settori da cui partire: le attività svolte che presentano un rischio dal punto di vista radiologico, gli apparecchi radiogeni, i locali all'interno del quale si svolgono le attività e infine i lavoratori, che devono essere classificati o meno in base ai valori di dose efficace a cui vengono esposti. L'Esperto Qualificato ai sensi dell'art. 80 del D.L. 230/95 deve redigere annualmente un documento in cui sono riportati i dati relativi ai quattro settori sopracitati e tenere aggiornati i registri di radioprotezione. Al giorno d'oggi uno potrebbe sottovalutare l'importanza della correlazione tra questi concetti, o meglio, elencarli senza evidenziare così informazioni legate a quali lavoratori operino in una determinata attività o, ad esempio, in quali locali vengano utilizzati gli apparecchi radiogeni. Con questo elaborato si vuole presentare un modello più completo, definito activity-oriented perché volto a portare le attività al centro dell'indagine di radioprotezione così da poter strutturare di conseguenza anche i dati relativi ad apparecchiature, locali e lavoratori. In questo modo si ottiene una visione più completa della radioprotezione di una azienda sanitaria, facilitandone la gestione. Successivamente verrà mostrato un modello, come quello fino ad ora descritto, che è stato sviluppato negli ultimi anni dal dott. Giorgetti sull'azienda U.S.L. di Forlì, dimostrando come possa essere applicato anche ad altre azien-

de sanitarie più vaste. Nello specifico lo schema è stato applicato all'ex Azienda Sanitaria U.S.L. di Ravenna ora Azienda USL della Romagna Area Territoriale di Ravenna, passando così da una gestione cartacea, priva di qualunque tipo di modellizzazione informatica, ad una descrizione incentrata sul concetto di attività a rischio radiologico. Verranno evidenziati i lavori che sono stati necessari per un corretto passaggio e inoltre verrà presentato un software sviluppato negli ultimi anni per l'informatizzazione di tutte le mansioni ripetitive che deve svolgere l'Esperto Qualificato così da rendere più rapido ed efficace la sorveglianza della radioprotezione di una azienda. Il software in questione, sviluppato sempre all'interno dell'azienda U.S.L. di Forlì è usufruibile ai dipendenti della fisica sanitaria tramite il sito <https://fisicasanitaria.ausl.fo.it>. Oltre alla descrizione del passaggio ad una gestione activity-oriented, verrà analizzato come ,utilizzando un software per automatizzare alcune attività burocratiche, il lavoro di monitoraggio dei campi di radioprotezione di una azienda possa focalizzarsi maggiormente su un'osservazione diretta delle attività svolte. In particolare ciò è possibile schedando tutti i dati necessari per il monitoraggio in un server così che, oltre ad essere consultabili a chi ne necessita, possano essere utilizzati per redigere i documenti obbligatori ai fini di legge ed, utilizzando il programma in esame, la compilazione viene già effettuata ponendo come ruolo centrale le attività collegando ad esse i locali in cui si svolgono, gli apparecchi radiogeni che si utilizzano e i lavoratori classificati che partecipano. In conclusione si vuole evidenziare come il modello presentato permetta una consistente riduzione del tempo necessario per svolgere le attività di competenza dell'Esperto Qualificato, riducendo inoltre gli errori commessi. Si ha così un guadagno di tempo impiegabile per formare i lavoratori classificati sui rischi che ci sono lavorando con radiazioni ionizzanti e quali possono essere le opportune precauzioni da utilizzare.

Capitolo 2

La radioprotezione in tema di radiazioni ionizzanti

Un illustre radiologo inglese, Robert Knox, scriveva al "Times" nel 1921: "... se non si prenderà nessuna precauzione, i radiologi andranno incontro al disastro". Divenivano pertanto un'esigenza e si andavano pertanto profilando ed intensificando gli studi sulle caratteristiche fisiche, e gli studi sugli effetti biologici delle radiazioni X e della radioattività. Dal punto di vista fisico l'importanza principale era quella di avere strumenti di misura e soprattutto unità di misura condivise tra gli operatori. Per misurare le radiazioni, la stessa Mme Curie realizzò uno dei primi radiometri, e, a mezzo di questi, si cercò di soddisfare anche la seconda esigenza: quella di definire le prime unità condivise, che, ad esempio per la radioattività e soprattutto per il radon, vennero individuate nelle seguenti:

- 1 1904. Unità Mache (u.M.): Un campione d'acqua contiene un'unità Mache se il radon, senza i suoi derivati, contenuto per litro di acqua è capace di indurre una corrente di saturazione eguale ad $1/1000$ di unità elettrostatiche utilizzando l'energia completa dei raggi alfa.
- 2 1912. La Commissione Internazionale del Campione di Radio ha accettato un preparato di radio di Mme Curie come campione internazionale ufficiale: un tubo di vetro di 32 mm di lunghezza, 1,45 di diametro e 0,27 di spessore

contenente (agosto 1911) 21,99 mg di cloruro anidro puro di radio, cioè: 16,74 mg dell'elemento radio.

- 3 E' stata denominata "curie" la quantità di radon in equilibrio con un grammo di radio (Unità riservata solo per il radon).

Accanto a queste, si sono individuate le caratteristiche fisiche rilevanti anche ai fini della protezione: la propagazione rettilinea, la riduzione con l'inverso del quadrato della distanza, l'attenuazione con l'interposizione di mezzi assorbenti e la proporzionalità con il tempo di esposizione per la quantità di radiazione che viene assorbita. Le osservazioni sugli effetti indotti dalle radiazioni sui tessuti viventi hanno portato contemporaneamente alla nascita di una nuova disciplina: la radiobiologia, le cui basi sono state poste all'inizio del secolo XX con due osservazioni:

- 1 I tessuti che crescono e si modificano più attivamente sono i più radiosensibili. La cromatina e la parte più sensibile della cellula (Bohn 1903).
- 2 L'azione dei raggi X e del radio sulle cellule viventi è eccitante a basse dosi, inibitrice a dosi medie e distruttiva ad alte dosi (Legge di Arndt-Schultz per agenti chimici adattata alla radiobiologia).

A queste osservazioni fanno seguito, negli anni immediatamente successivi, le regole biologiche di base di Bergonie e Tribondeau (1906), leggi che correlano alle radiazioni la fragilità delle cellule e la loro attività riproduttiva. Secondo tali leggi, tutt'oggi estremamente valide, le radiazioni agiscono con maggiore intensità quando l'attività riproduttrice delle cellule è maggiore, il loro divenire cariocinetico è più lungo e le loro funzioni sono meno definitivamente fissate. Sulla base dei dati fisici e delle osservazioni chimiche e biologiche dovute alle radiazioni sono state utilizzate svariate unità di misura. Appresso ne vengono indicate alcune.

- 1 Unità Furstenau (F), basata sulla variazione di resistenza elettrica del selenio sottoposto all'azione dei raggi X.
- 2 Unità Sabouraud-Noire (S-N), basata sulla variazione di colore del platino-cianuro di bario sottoposto all'azione dei raggi X.

3 Unità Solomon (R-francese), basata sul fenomeno della ionizzazione dei raggi X in aria.

4 Dose eritema: quantità di raggi duri che (somministrati in una sola volta ad un soggetto sano di media età da una distanza di 23 cm su un campo addominale di 6x8 cm²) produce poco dopo l'irradiazione un semplice rossore della cute seguito da una lieve colorazione bruno chiara nelle prime tre settimane, e da una evidente pigmentazione dopo altre tre settimane.

Le osservazioni radiobiologiche, ma soprattutto gli effetti rilevati sul piano clinico hanno frattanto indotto le numerose società intestate a Rontgen, in suo onore, sorte in tutto il mondo, a istituire nel loro interno delle sezioni dedicate allo studio di questi effetti negativi, al fine di indicare dei criteri di protezione. La società più sollecita in tal senso è stata la "Roentgen Society" inglese che già nel 1898 creò un comitato per studiare gli effetti nefasti dei raggi X, comitato che nel 1921 acquisterà una veste più formale come "British X-Ray and Radium Protection Committee". E' a questo Comitato che si deve il primo tentativo di indicazione concreta di protezione attraverso il concetto di "dose massima di tolleranza". Gli ingegneri, ma soprattutto i radiologi hanno sentito vivo il bisogno di autoproteggersi e di questo hanno discusso nei loro congressi, all'inizio limitati all'ambito nazionale. Nel 1925 è stato tenuto il primo Congresso Internazionale di Radiologia. Questo ha affidato ad una apposita Commissione l'incarico di definire una unità di misura di preciso significato fisico e di accettazione universale. Questa commissione, nel successivo Congresso internazionale a Stoccolma nel 1928, ha presentato e illustrato questa nuova unità: il "Rontgen", che venne definita come la quantità di radiazione che libera, in 1 cm³ di aria a 0 °C e a 76 cm di pressione di colonna di mercurio, l'unità elettrostatica di quantità di elettricità (Stoccolma 1928). Nel corso della stessa Manifestazione venne istituita una seconda Commissione, espressione del Congresso Internazionale dei Radiologi, con la denominazione di "International X-Ray and Radium Protection Committee (IRRPC)", la cui denominazione dice in sé lo scopo ed il compito specifico. L'anno successivo (1929) negli Stati Uniti, di concerto tra le due associazioni dei radiologi presenti sul territorio nord-americano (l'American Roentgen Ray Society e la Radiological Society of North America),

venne istituito lo “United States Advisory Committee on X-Ray and Radium Protection (USACXRP)”, divenuto poi il “National Committee on Radiation Protection and Measurements (NCRP)”. Frattanto due anni prima l'americano Herman Joseph Muller aveva evidenziato gli effetti genetici, studiando le mutazioni nella *Drosophila melanogaster* indotte dall'esposizione ai raggi X. Anche in Italia, al pari delle altre nazioni, l'interesse per i nuovi raggi suscitò un fervore di ricerca e di applicazioni nei campi più svariati e nel contempo altrettante sofferenze e lutti, principalmente tra i radiologi. La cautela da porre in atto nell'impiego delle radiazioni ha spinto la SIRM (Società Italiana di Radiologia Medica) e gli Ingegneri del Comitato Elettrotecnico Italiano a far pressione sui parlamentari per l'emanazione di una normativa di regolamentazione; normativa che ha visto la luce nel biennio 1923-1925 con la finalità di limitare l'impiego delle radiazioni e di definire la figura giuridica dello specialista radiologo. La stessa SIRM, sulla scia di quanto fatto dalle altre società nazionali ed internazionali, ha istituito un gruppo di lavoro per la definizione di criteri di protezione, criteri che hanno trovato collocazione nella Rivista della Società nel 1933-1934 con il titolo: “La carta della protezione” (La Radiologia Medica Vol. XXI, 7).

2.1 Il periodo della “Livellazione”

Gli anni '20 sono quelli nei quali si è sentita l'esigenza di cautela nell'esposizione, attraverso la quantificazione fatta da A. Mutsheller nel 1925 della “dose di tolleranza”, che è stata intesa sia in modo concettuale come dose che l'organismo riesce a “tollerare” senza evidenti effetti negativi, ma intesa anche come indicazione numerica di un valore di dose che sarebbe stato meglio non superare in ambito professionale. Da quest'ultimo punto di vista l'indicazione di Mutsheller suggeriva di non superare 1/100 della dose eritema in 30 gg, cioè circa 6 r al mese. Era questa una semplice indicazione senza alcun significato vincolante per gli operatori. La stessa IRRPC, che si era riunita per la seconda volta a Parigi nel 1931, discusse circa la possibilità di introdurre un “livello di tolleranza”, ma senza un unanime accordo; la questione fu rinviata al terzo incontro avvenuto a Zurigo nel

1934. Durante questo incontro fu ritenuto più consono ad un principio di cautela impiegare la dizione di “permissibile level” “livello ammissibile” di esposizione alle radiazioni, sottintendendo che al di là degli impieghi medici, nessuna radiazione è vantaggiosa per l’uomo e che lo stabilire un livello al quale far riferimento non è un problema scientifico, quanto piuttosto un tema filosofico, morale e di semplice buon senso. E’ restato il termine “livello” che non ha un significato vincolante, ma è comparsa l’aggettivazione “ammissibile” o “permessa” come per indicare che “una dose superiore non è consentita, superando così il significato che sta dietro a “tollerabile”. Questo livello dal punto di vista numerico fu fissato in 0,2 r al giorno, un valore praticamente pari a quello della dose di tolleranza indicato da Mutscheller, ma con significato, come indicato, notevolmente diverso. Gli Stati Uniti usarono maggiore prudenza e l’NCRP due anni dopo nel 1936 adottò come livello il valore di 0,1 r al giorno. Il periodo che va dall’inizio degli anni ‘20 alla fine degli anni ‘40 è stato un periodo fecondo per la fisica e per le applicazioni tecnologiche. Più precisamente gli anni ‘20 hanno segnato il trionfo della rivoluzione quantistica che ha sconvolto la visione del mondo atomico, con la teoria ondulatoria, l’equazione di Schrodinger, quella di Dirac e il principio di indeterminazione di Heisenberg. Anche la radiobiologia ha compiuto importanti passi in questo periodo, non solo ad opera della già indicata evidenziazione degli effetti genetici delle radiazioni, ma anche per l’osservazione del diverso comportamento dei tessuti nei confronti dei diversi tipi di radiazioni. E’ in relazione a quest’ultimo aspetto che nel 1934 A. Mutscheller ha introdotto il concetto di efficacia biologica relativa. In Italia in questo periodo (1932) è stata fondata la Società Italiana di Radiobiologia (SIRB) e successivamente (1935) l’Associazione Italiana di Radiobiologia (AIRB), che ha poi assorbito la SIRB nel 1938. Gli anni della seconda guerra mondiale hanno visto uno sconvolgimento delle scuole di fisica e di medicina con imponenti migrazioni negli Stati Uniti, divenute il centro propulsore della ricerca nel settore delle radiazioni. Non si può non rilevare l’importanza che il progetto Manhattan e l’autosostentamento della reazione a catena, il 2 dicembre 1942 alle ore 15:25 nella pila CP-1 costruita sotto la gradinata dello stadio dell’università di Chicago, hanno avuto per la storia stessa dell’umanità tutta ed anche per la storia della ra-

dioprotezione. E' attorno a questo progetto infatti che è nata la "Fisica sanitaria", nuova disciplina che ha indirizzato le conoscenze della fisica alle problematiche della salute dell'uomo e dell'ambiente. Gli impieghi bellici, ed in questo ambito le esplosioni sperimentali, prima delle bombe A, poi delle bombe H, hanno indotto forte preoccupazione per le sorti di tutta l'umanità per i possibili effetti genetici conseguenti al fall-out delle esplosioni. La prospettiva dell'impiego pacifico dell'energia nucleare e il successivo concreto utilizzo hanno creato per i reattori, per gli impianti del ciclo del combustibile e per tutte le altre attività indotte altrettanta preoccupazione in ambito sanitario sia per i rilasci nell'ambiente in condizioni di esercizio normali che in condizioni incidentali. Questo enorme proliferare di interessi e di attività comportanti esposizione non solo degli operatori, ma anche del pubblico, non solo in sede locale, ma a livello planetario, ha portato a rivedere e ad enfatizzare i problemi della protezione dalle radiazioni. Gli organismi politici si sono mobilitati e gli organismi tecnici si sono conformati alle nuove esigenze. Le Nazioni Unite promossero la costituzione dell'UNSCEAR (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation) la cui attività era essenzialmente diretta al censimento e monitoraggio, su scala planetaria, delle principali fonti di radiazioni e sui loro effetti. Tra gli organismi scientifici il primo che ha subito gli influssi del nuovo corso è stato il NCRP; questo si è ampliato inglobando tecnici di rilievo quali quelli che erano già stati coinvolti, su iniziativa di A. H. Compton, nel Metallurgical Project a fianco del progetto Manhattan, come: S. L. Warren e K.Z. Morgan, e quali quelli del Servizio di Salute Pubblica (PHS), come: H. L. Andrews e E. G. Williams. Questo organismo, rinnovato e con orizzonti ampliati, ha indicato nel 1948 un nuovo livello di dose ammissibile pari a 0,3 r/settimana. Anche i due organismi del Congresso Internazionale di Radiologia: l'International Committee on Radiation Protection Units e l'International X-Ray and Radium Protection Committee, hanno sentito il peso dei nuovi problemi e si sono adeguati, ristrutturandosi ed ampliando i loro organici e ruoli con altri esperti. L'NCRP ha avuto un ruolo determinante in questo processo innovativo attraverso l'apporto di un ricco contributo di informazioni e di conoscenze accumulate negli Stati Uniti a seguito dell'avvento dell'"energia atomica". Quindi l'IRRPC, in occasione del

suo 5° incontro a Londra nel 1950, ha cambiato la sua denominazione in International Commission on Radiological Protection (ICRP), stabilendo, in analogia con quanto già fatto dalla NCRP, un nuovo criterio di lavoro attraverso sottocommissioni (Comitati) dedicate a temi specifici, adottando nelle sue Raccomandazioni il livello di dose ammissibile già indicato dal NCRP, pari a 0,3 r per settimana e indicando per la prima volta le concentrazioni massime ammissibili nell'organismo per 10 radioisotopi. Nel sesto incontro (congiunto con l'UNESCO e l'ICRU) il tema dominante è stato quello degli effetti genetici, accordo in merito ai quali fu raggiunto nell'incontro del 1956 dopo la conferenza sull'atomo pacifico di Ginevra (1955), nel corso della quale venne indicato un aumento della leucemia tra gli esposti giapponesi alle esplosioni nucleari. Merita ricordare il contatto che il WHO ha stabilito in questo periodo con l'ICRP con l'intento di associare la Commissione alle proprie attività e la scelta della Commissione di mantenere la propria autonomia al di fuori di organismi politici sia pur di alto livello internazionale, quale appunto il WHO. L'ICRU frattanto, riorganizzata e modificata nel suo modo di operare, aveva coniato per le nuove esigenze altre grandezze ed unità di misura, che di seguito vengono riportate:

- curie = numero di disintegrazioni al secondo ($3,7 \cdot 10^{10}$) che si verificano in un grammo di radio;
- rontgen equivalent, physical (rep) unità di dose assorbita corrispondente a 93 erg per grammo di materiale assorbente;
- rad (da: radiation) pari a 100 erg di energia assorbita per grammo di materiale assorbente;
- rontgen equivalent, man (o mammal) (rem) dose di una qualsiasi radiazione che produce lo stesso effetto biologico prodotto da un rontgen di raggi X ad alto voltaggio.

Mentre più alto era l'interesse per gli effetti genetici delle radiazioni (1956), un nuovo organismo scientifico è venuto a dar manforte a quelli già presenti: il Comitato BEAR (Biological Effects of Atomic Radiation), divenuto poi BEIR, istituito dalla

Accademia Nazionale delle Scienze (NAS) e dal Consiglio Nazionale delle Ricerche (NRC) degli Stati Uniti. Il settimo incontro dell'ICRP congiunto con l'ICRU si svolse a Ginevra nel 1956, quando ormai era stato raggiunto un accordo per la protezione genetica, mediando tra i valori 3 r degli inglesi e i 20 r sostenuto dai rappresentanti degli Stati Uniti come dose individuale alle gonadi; la Commissione fu quindi in grado di raccomandare che la dose ai lavoratori fosse mantenuta al di sotto dei 50 rem fino ai 30 anni, e che per la popolazione entro lo stesso intervallo di età le dosi fossero limitate a 10 rem; fu anche ampliato fino a 200 il numero di radioisotopi per i quali la Commissione stabilì le concentrazioni massime ammissibili sia in aria che in acqua. Con le Raccomandazioni del 1958 e successive decisioni e integrazioni, si è sentito ormai l'influsso del timore di effetti stocastici somatici (in particolare la leucemia) oltre a quelli genetici. I "livelli" divennero "limiti" ed i valori furono abbassati. Fu adottato il concetto di dose accumulata, secondo una formula indicata dall'NCRP, con la quale si limitò a 5 rem all'anno la dose per i lavoratori, dose che divenne: Dose Massima Ammissibile:

$$MPD = 5(N - 18)\text{rem}$$

Per la popolazione la stessa quantità fu fissata in 0,5 rem all'anno. La ICRP, che aveva pubblicato fino ad allora le sue Raccomandazioni ospitata su riviste di radiologia, divenne editorialmente autonoma ed iniziò a numerare le sue pubblicazioni; questa portò il numero 1 con il titolo: "Recommendations of the International Commission on Radiological Protection (adopted September 9, 1958. ICRP Publication 1, Pergamon Press (1959)". Rapportando con approssimazione i vari valori numerici alla nuova unità di misura: il rem, i livelli di tolleranza e/o ammissibili nel corso degli anni sono stati pertanto così modificati:

- Prima del 1934 100 rem/a
- ICRP (1934-1950) 60 rem/a
- ICRP (1950-1956) 15 rem/a
- ICRP (1956) 5 rem/a

Un'altra organizzazione internazionale nel frattempo è comparsa nella scena degli organismi regolatori: la Commissione Europea per l'Energia Atomica (EURATOM), fondata con lo scopo di equilibrare ed armonizzare, tra i paesi firmatari, lo sviluppo pacifico dell'energia nucleare.

2.2 Il periodo dell'ALARA

Se i criteri di prevenzione fino agli anni '60 si erano mossi all'insegna della prudenza e delle evidenze radiobiologiche, dando un solo elemento guida (quello della limitazione della dose), il timore della comparsa di effetti genetici e soprattutto le prime avvisaglie sugli effetti stocastici somatici indussero l'ICRP a reimpostare il quadro di riferimento passando dalla filosofia: "dell'impedire il verificarsi di effetti certi" a quella della "riduzione della probabilità del verificarsi degli effetti incerti". L'impostazione dottrinale (anni '50 e precedenti) era infatti basata sul concetto cardine di "soglia" di manifestazione degli effetti, e pertanto tutta la filosofia di prevenzione si basava su un unico principio: quello del limite di dose da non superare, in quanto solo al di sopra di questo limite potevano manifestarsi degli effetti dannosi. L'impostazione di base della radioprotezione era pertanto fondata su una sola semplice norma, ovvero limitare la dose al di sotto di un valore prefissato e ritenuto sicuro, la Dose Massima Ammissibile (DMA). In maniera graduale, a seguito dei primi esiti delle indagini epidemiologiche, l'impostazione dottrinale è passata ad adottare, per i fini della radioprotezione, l'ipotesi che anche dosi basse e prossime allo zero potessero determinare degli effetti sanitari dannosi: ipotesi lineare senza soglia (L-NT da "Linear No Threshold hypothesis"). Al riguardo la Commissione così si è espressa nella Pubblicazione n° 9 (Recommendations of the International Commission on Radiological Protection – Adopted September 17/1965 – Pergamon Press, Oxford): "Poiché l'esistenza di una dose soglia non è provata, si è fatta la ipotesi che anche le più modeste dosi implicino un rischio proporzionalmente piccolo, di induzione di forme a carattere maligno. La Commissione non vede alternative concrete, per gli scopi delle protezioni radiologiche, all'ipotesi di una relazione lineare tra dose ed effetto, con le dosi che agiscono in

maniera cumulativa. La Commissione è ben conscia che l'ipotesi di mancanza di soglia e di completa additività di tutte le dosi possa essere non corretta, ma si considera soddisfatta che tale ipotesi non possa verosimilmente comportare una sottostima dei rischi." Su questa nuova supposizione è stata impostata la filosofia di radioprotezione negli anni '60 e seguenti. Si è passati così da una impostazione ad un pilastro: quello della limitazione, ad una impostazione a "due pilastri", attraverso l'adozione di un secondo principio aggiuntivo che è stato all'inizio presentato come "lotta al rischio indebito". Si richiedeva cioè di eliminare tutte le esposizioni che non avessero una corrispondente motivata utilità. Pertanto i due principi essenziali, su cui la Commissione ha impostato con le Pubblicazioni n. 6 e n. 9 dal titolo "Recommendations" il modello concettuale da seguire, possono essere così formulati:

1. "Deve essere fatta azione di prevenzione affinché le persone esposte non ricevano dosi superiori ai valori massimi ammessi per i vari gruppi di individui e per le diverse circostanze";
2. "Qualsiasi esposizione non necessaria sia evitata e tutte le dosi siano tenute tanto basse quanto è concretamente ottenibile, tenendo conto di considerazioni economiche e sociali"

Questo ultimo principio ha introdotto il concetto di "dose indebita" e quindi la norma in base alla quale non è consentita la somministrazione di una dose non necessaria, anche se inferiore ai valori di dose massima ammissibile; come si vede questa impostazione non delimita un campo di separazione tra dose accettabile e dose indebita, ma piuttosto indica una tendenza da perseguire nelle situazioni espositive. Questo secondo principio ha trovato successivamente una formulazione più sintetica, più esplicita e concreta espressa attraverso un acronimo, anche oggi molto diffuso ed impiegato anche in altre discipline: il così detto principio ALARA (dalle parole inglesi *As Low As Readily Achievable*) secondo cui "la dose deve essere mantenuta tanto bassa quanto è concretamente ottenibile tenendo conto degli aspetti economici e sociali". Altri organismi si sono affacciati in questo periodo sulle scene nazionali e internazionali e, con intenti e finalità diverse, hanno

perseguito l'obiettivo di evidenziare, analizzare e valutare il rischio da radiazioni o di promuovere in modo motivato e con le dovute cautele la diffusione dell'impiego pacifico dell'atomo. Tra questi non possono essere dimenticati:

1. la ABCC (Atomic Bomb Casualty Commission), successivamente denominata RERF (Radiation Effects Research Foundation);
2. l'IAEA (International Atomic Energy Agency) (1956)
3. la NEA (Nuclear Energy Agency) (1958);
4. il BEIR (Biological Effect of Ionizing Radiations);
5. l'IRPA (International Radiation Protection Association) (1964),

Come si vede è ormai l'energia nucleare che ha dominato gli interessi in campo radiologico, per cui gli obiettivi prevalenti della Radioprotezione sono stati diretti verso la protezione nei confronti dei rischi connessi con questa forma di impiego delle radiazioni, sia nei confronti dei lavoratori che della popolazione. Si sono introdotti pertanto nuovi concetti e grandezze come: il fattore di qualità della radiazione, principalmente legato al trasferimento lineare di energia (LET), l'equivalente di dose, gli organi e tessuti critici per i quali sono indicati limiti di dose specifici, la concentrazione massima ammissibile, il massimo carico corporeo ammissibile, i modelli biocinetici, i limiti annuali di introduzione (ALI), ecc... Necessariamente la filosofia si è fatta più complessa e la sua applicazione sempre più complicata e difficile. In particolare il principio ALARA, interpretato ed elaborato in modo restrittivo e non certo nello spirito dell'ICRP, ha portato a spingere la protezione verso valori di dose "zero", con rinuncia quindi dei benefici che l'umanità può trarre, sia attraverso le applicazioni energetiche ed industriali, che quelle mediche. E' in questo periodo che anche la protezione del paziente, per il passato lasciata principalmente alla professionalità dei radiologi, ha iniziato a divenire oggetto di specifica attenzione da parte della Commissione, la quale se da una parte (nella Pubblicazione n° 9) ha ritenuto "che non sia possibile fornire raccomandazioni specifiche sulla limitazione della dose appropriata per ogni procedura medica sui singoli pazienti", ha precisato che: "la Commissione desidera

affermare la necessità di limitare le dosi da procedure radiologiche al livello minimo compatibile con il beneficio medico da aggiungere per il paziente”; questa preoccupazione è nata non tanto per i rischi del paziente, quanto per la sua progenie, aspetto che richiede una riduzione della dose genetica ai valori più bassi possibili. Su questo aspetto l’UNSCEAR tramite l’ICRP aveva infatti promosso inchieste a livello mondiale sui metodi di valutazione dell’esposizione per scopi medici, in esito alle quali risultava, come dose genetica alla generazione vivente all’epoca, un valore compreso tra 0,2 e 2 rem. Ciò aveva portato a ritenere che la dose genetica poteva “essere ridotta ai valori inferiori dell’intervallo di dosi sopra riportate senza perdita delle informazioni mediche necessarie”.

2.3 Il periodo dei tre pilastri

L’esperienza e le conoscenze maturate tra la seconda metà degli anni ‘60 e la prima metà degli anni ‘70, che hanno trovato, nei più puntuali risultati delle indagini epidemiologiche e conseguentemente nell’enfasi data agli effetti di tipo stocastico, la spinta propulsiva che, nel processo evolutivo, ha portato alla dottrina del “Sistema di limitazione delle dosi”, enunciato dalla ICRP nella pubblicazione 26 del 1977 (*Recommendations of the International Commission on Radiological Protection*– Adopted January 17/1977 – Pergamon Press, Oxford). Secondo tale sistema la disciplina di radioprotezione deve essere basata su un “tripode” che esprime in maniera chiara i due obiettivi della prevenzione: l’eliminazione degli effetti deterministici e la limitazione, a livelli considerati accettabili, della probabilità di accadimento degli effetti stocastici. Con questo sistema si è provveduto anche a superare l’ambiguità della interpretazione del principio ALARA, che portava a ritenere che il suo obiettivo fosse il raggiungimento della dose “zero”, come sopra è stato fatto cenno. Si è giunti così ad un solido e stabile sistema a “tre pilastri”: il “Sistema di limitazione delle dosi”, costituito dai seguenti principi:

1. qualsiasi attività che comporti un’esposizione alle radiazioni ionizzanti deve essere giustificata dai vantaggi che essa procura (Principio di giustificazione del rischio);

2. qualsiasi esposizione alle radiazioni deve essere mantenuta al livello più basso ragionevolmente ottenibile (Principio di ottimizzazione della protezione ALARA);
3. la somma delle dosi ottenute ed impegnate non deve superare i limiti massimi fissati per i lavoratori, per gli apprendisti e per le persone del pubblico (Principio di limitazione del rischio ai singoli).

L'applicazione dei principi ha richiesto la precisazione di grandezze già indicate in precedenza, l'introduzione di altri concetti e la definizione di altri elementi come: l'equivalente di dose efficace, la dose collettiva, la dose impegnata, i coefficienti di rischio, il detrimento sanitario, la quantificazione del rischio che, da una parte, costituiscono elementi indispensabili per l'attuazione dei principi, mentre, dall'altra, creano qualche perplessità, sia per le possibili strumentalizzazioni, che per gli aspetti di ordine etico. La Comunità Europea ha richiesto un adeguamento ai paesi membri emanando, tre anni dopo, la Direttiva nella quale ha recepito questi nuovi orientamenti (Direttiva 80/836/Euratom GU n. L 246 del 17/9/'80). Si sono ormai attenuati i timori per gli effetti genetici, che non vengono riscontrati neanche nella popolazione più esposta: quella dei sopravvissuti giapponesi alle esplosioni atomiche, tra i quali invece sono divenuti sempre più evidenti gli eccessi oncogeni. Si sono consolidati o sono sorte ex novo nuove branche applicative della radioprotezione e nuove professionalità come: la radioecologia, la radioprotezione medica, la radiotossicologia, l'ingegneria applicata alle radiazioni, la fisica medica, ecc... con la fondazione, in Italia, di sezioni nelle Associazioni esistenti (AIFS) o nuove associazioni specifiche, quali: l'Associazione Italiana di Radioprotezione Medica (AIRM), l'Associazione Nazionale Professionale degli Esperti Qualificati (ANPEQ), le associazioni dei fisici medici, che confluiranno poi nell'Associazione Italiana di Fisica Medica (AIFM), la Società Italiana per le Ricerche sulle Radiazioni (SIRR), l'Associazione Italiana di Radioterapia Oncologica (AIRO). Per quanto riguarda la giustificazione, si è precisato ad esempio che "la decisione che riguarda la giustificazione di un esame diagnostico che comporta una data dose ad un paziente, è talvolta responsabilità del medico che richiede l'esame e talvolta del medico che esegue l'esame in questione", o, per quanto riguarda l'ottimizza-

zione, la Commissione ha sottolineato che “un’accurata attenzione alle tecniche di radiologia e di medicina nucleare può consentire in molti casi una considerevole riduzione della dose dovuta a procedure mediche, senza riduzione del loro valore diagnostico o terapeutico”. Come già accennato, all’inizio questo Organismo si è interessato prevalentemente della protezione degli operatori, ma ormai il tema della protezione del paziente è divenuta oggetto di particolare attenzione. E’ un periodo durante il quale si è assistito a una feconda produzione scientifica da parte degli organismi scientifici più sopra ricordati: UNSCEAR, BEIR, RERF. Attraverso la valutazione più puntuale della dosimetria, le valutazioni dosimetriche ai singoli organi degli esposti, il raffronto tra i risultati ottenuti analizzando le varie serie epidemiologiche, l’osservazione dell’eccesso di rischio per le patologie oncologiche in funzione dei vari parametri come l’età degli esposti, il tempo di latenza, il sesso, le abitudini di vita, l’appartenenza ad una determinata popolazione ecc. . . che hanno portato al riesame, all’interpretazione e alla modellazione delle valutazioni di rischio per gli effetti stocastici. E’ anche il periodo nel quale si sono verificati due significativi incidenti nelle attività di produzione dell’energia nucleare: quello di Three Mile Island (1978) con rilasci praticamente insignificanti nell’ambiente e senza conseguenze sanitarie, se si escludono quelle psico-sociali e quello di Chernobyl (1986) con rilasci imponenti, diffusi in tutta Europa, 28 morti immediati, oltre 134 irradiati gravi, circa 5000 tumori tiroidei in eccesso nella popolazione infantile ed un enorme squasso psico-sociale a livello locale, con ripercussioni politico-economico-sociali e psicologiche anche a distanza, come nel nostro Paese. Oltre dieci anni di convivenza con il “Sistema di limitazioni delle dosi” hanno fornito occasioni concrete ed operative di applicazione del “Sistema”, e quindi di riesame critico; e ciò, unitamente all’acquisizione degli ulteriori dati epidemiologici ottenuti nella prosecuzione del follow-up degli esposti giapponesi, alle valutazioni ed agli avvenimenti sopra ricordati hanno portato a perfezionare il “Sistema” stesso. L’ICRP ha creduto opportuno pertanto emanare una nuova Pubblicazione dal titolo Raccomandazioni (1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection – Adopted in November 1990 – Pergamon Press, Oxford) che porta il numero 60. In questa Pubblicazione, il “Sistema di limitazione

delle dosi” diviene “Sistema di protezione radiologica”, come per significare che la “limitazione della dose” non è il principale strumento di prevenzione, ma è il complesso dei tre strumenti che da completezza allo sforzo di prevenzione nei confronti dei rischi legati all’esposizione alle radiazioni ionizzanti. Il Sistema, nuovo come denominazione, ma dal contenuto eguale al precedente, è stato suddiviso con riferimento ai due possibili contesti applicativi della Radioprotezione: le pratiche e gli interventi, distinzione divenuta importante dopo le situazioni incidentali ricordate e dopo l’assegnazione alle radiazioni “natural” di un potenziale lesivo analogo a quello assegnato alle radiazioni “artificiali”. Sono state introdotte le grandezze e le unità di misura nuove, già fatte proprie dall’ICRU, e qui riportate succintamente di seguito:

- Dose assorbita: 1 gray = energia di un joule assorbita da un chilogrammo di materia, corrispondente a 100 rad.
- Dose equivalente: 1 sievert = dose assorbita moltiplicata per il fattore correttivo del tipo di radiazione e sommata su tutte le radiazioni, corrispondente a 100 rem
- Dose efficace: 1 sievert = dose equivalente moltiplicata per il fattore correttivo del tipo di tessuto, sommata su tutti i tessuti esposti, corrispondente a 100 rem.

Altro elemento di rilievo che merita qualche precisazione esplicita è l’abbassamento dei limiti di dose efficace. Il criterio che aveva condotto ai valori precedenti può essere definito “criterio tossicologico” nel senso che, nota la dose soglia per la comparsa di effetti, era sufficiente mantenersi adeguatamente lontani da questi valori per avere la garanzia di non incorrere in eventi negativi di questo tipo. Questo criterio è restato invariato per quanto riguarda la dose equivalente per alcuni specifici organi e tessuti (cristallino, cute, estremità), mentre per quanto riguarda la dose efficace il criterio adottato può essere definito: di ordine “socio-sanitario”. I limiti infatti sono stati stabiliti con riferimento al rischio stocastico ad alla sua accettabilità da parte della popolazione. Sulla base dei coefficienti di rischio rivalutati e sulla base di inchieste demoscopiche, che giudicano accettabile

un rischio di 10^{-4} eventi mortali/anno tra la popolazione e 10^{-3} eventi mortali anno per i lavoratori a seguito dell'introduzione di una nuova tecnologia, la ICRP ha valutato in 20 mSv/a la dose massima per i lavoratori e 1 mSv/a la dose per la popolazione corrispondente ai livelli di rischio indicati. Questi limiti peraltro sono superiori e pertanto congruenti con i livelli di esposizione che, sulla base degli sviluppi tecnologici e attraverso l'applicazione delle consolidate norme di protezione, ormai vengono riscontrati come valori correnti per i lavoratori e per le popolazioni esposte. La loro accettazione quindi non interferisce con gli interessi di sviluppo economico, sociale e sanitario delle radiazioni nei vari comparti applicativi. A questo punto, per entrare meglio nel vivo del quadro di riferimento concettuale che è essenzialmente riferito agli effetti stocastici, merita fare un breve richiamo al significato più preciso che la Commissione ha attribuito al "Sistema", che, per le pratiche, può essere così enunciato:

a) Nessuna pratica che coinvolga esposizione alle radiazioni dovrà essere adottata, a meno che essa produca un beneficio sufficiente, agli individui esposti o alla società, tale da bilanciare il detrimento radiologico che essa provoca. (Principio di "giustificazione" di una "pratica".)

b) In relazione ad una certa sorgente nell'ambito di una pratica, i valori delle dosi individuali, il numero delle persone esposte, e la probabilità delle esposizioni potenziali, devono tutti essere mantenuti tanto bassi quanto ragionevolmente ottenibile, anche in considerazione di fattori sociali ed economici. (Principio di "ottimizzazione" della pratica)

c) L'esposizione degli individui, dovuta alla combinazione di tutte le pratiche di interesse, deve essere soggetta a limiti di dose, o a qualche forma di controllo del rischio nel caso di esposizioni potenziali. Questi limiti hanno lo scopo di garantire che nessun individuo sia esposto a rischi radiologici che siano giudicati inaccettabili, in relazione a tali pratiche in condizioni normali. Non tutte le sorgenti sono suscettibili di controllo mediante azioni esercitate su di esse, ed è quindi necessario specificare le sorgenti da considerare rilevanti, prima di fissare un limite di dose. (Principio di "limitazione" individuale della dose e del rischio).

Per quanto riguarda la protezione del paziente, tema che è stato inserito in

maniera più incisiva nel “Sistema”, la Commissione così si è espressa: “Di solito lo scopo delle esposizioni mediche è quello di apportare un beneficio diretto alla persona esposta. Se la pratica è giustificata e la protezione ottimizzata, la dose al paziente sarà tanto bassa quanto compatibile con le finalità della diagnosi e della terapia. La Commissione raccomanda quindi che i limiti di dose non si applichino alle esposizioni mediche”. Invece dei limiti però la Commissione ha segnalato l’opportunità di adottare dei “vincoli di dose” o dei “livelli di indagine” la cui definizione viene rimessa alle organizzazioni professionali e agli organi nazionali di controllo. Ha dato inoltre per scontata la giustificazione dell’impiego in senso generico delle radiazioni per fini medici e l’ottimizzazione delle varie tecniche e dei macchinari effettuata dai costruttori e dai verificatori della garanzia di qualità, mentre ha affidato ai singoli operatori radiologi e medici nucleari le valutazioni di giustificazione e di ottimizzazione nei singoli casi concreti paziente per paziente, attraverso una analisi rischi-benefici, con massimizzazione dei benefici. Era quindi necessario che in cascata, in questa organizzazione normativa divenuta ormai piramidale (dal vertice dell’ICRP alle legislazioni nazionali), anche il nostro Paese aggiornasse la propria legislazione in materia di radioprotezione sostituendo il D.P.R. 185/64. Il recepimento di queste direttive è avvenuto sostanzialmente con il D. Lgs. 230/95, nel quale sono state recepite alcune indicazioni contenute nelle Raccomandazioni del 1990 dell’ICRP, addirittura in anticipo rispetto alle Direttive stesse e la Direttiva CE dell’84 sulla radioprotezione del paziente. Il recepimento completo è poi avvenuto recentemente attraverso l’emanazione dei seguenti Decreti legislativi: 241/2000, 187/2000, 257/2001, 23/2009, 100/2011. Il quadro di riferimento che si è arricchito e modificato nel tempo è divenuto certamente complesso, spesso di difficile attuazione, a volte immotivatamente puntiglioso e meritevole di critiche. Negli ultimi anni è stato pertanto attuata una rimeditazione adottando criteri e soluzioni atte a portare al superamento delle difficoltà e delle critiche. Il processo di ristestura di nuove raccomandazioni dell’I.C.R.P. è iniziato già sul finire degli anni ’90, in risposta alle critiche riguardanti la complessità del quadro dottrinario introdotto dalla Pubblicazione 60. Ne è derivata la pubblicazione n. 103/2007 della ICRP, i cui principali aspetti sono:

1. Permanendo il preminente interesse per gli effetti stocastici, il punto base dell'impostazione è rimasta l'ipotesi lineare senza soglia, che costituisce la concreta enunciazione per la Radioprotezione del noto "principio di cautela".

2. La Commissione ha precisato che, per gli effetti stocastici somatici, è errato considerare la dose collettiva (basata sulla linearità senza soglia) al di fuori dei fini della Radioprotezione: la stessa non deve essere considerata come uno strumento epidemiologico di conteggio di morti di tumore nelle proiezioni di rischio, perseguito da alcuni per finalità scientificamente non corrette. La valutazione degli stessi effetti è inoltre effettuata sulla base della incidenza invece che della mortalità delle malattie neoplastiche: anche per altre istituzioni (per es. il BEIR VII) i dati di incidenza risultano più attendibili in quanto minori incertezze esistono rispetto alle cause di morte, specie nei tumori ad alta sopravvivenza, e l'età alla diagnosi risulta più precisa. Queste modifiche portano ad una riduzione dei "coefficienti nominali di detrimento", che oltre ad essere "mediati" e "proiettati" risultano meglio "adattati" al detrimento stesso circa la mortalità e la qualità della vita; essi vanno considerati come coefficienti di rischio sia per la popolazione sia per i lavoratori adulti, e mantengono pieno significato nei riguardi di situazioni comportanti esposizioni a sorgenti controllabili plurime, con criteri proposti basati sui "vincoli" di dose o di "livelli di riferimento" nel controllo delle sorgenti radiogene. La Commissione, in base a questi criteri, ha riportato indicazioni numeriche ben precise circa i limiti, i vincoli e i livelli di riferimento nelle varie situazioni espositive (preesistenti, pianificate o di emergenza).

3. E' stata apportata una importante semplificazione, eliminando la distinzione tra pratiche ed intervalli a favore delle sole esposizioni "controllabili", che sono l'oggetto di attenzione e di applicazione del sistema di protezione radiologica, appunto al fine di ridurre l'esposizione.

4. Altro punto che va segnalato è il riconoscimento di errore "per eccesso di cautela" nei riguardi degli effetti ereditari, estesi in precedenza a tutte le future generazioni e che, sulla base delle chiare indicazioni dell'UNSCEAR 2001, vengono limitate alla seconda generazione, comportando una notevole riduzione del coefficiente di detrimento anche per la componente ereditaria.

5. Infine pur ritenendo ancora valido il principio già precedentemente enunciato secondo cui la protezione dell'uomo assicura che anche le altre specie non sono esposte a rischio, la Commissione ha ritenuto opportuno attirare l'attenzione sulla protezione dell'ambiente.

In conclusione riportando testualmente il giudizio recentemente espresso da autorevoli Autori, si può asserire che le nuove Raccomandazioni della Commissione manterranno una "stabilità" rispetto alle precedenti, ma vedranno le "innovazioni" brevemente sopra accennate e nel contempo subiranno una "evoluzione", estendendosi al di fuori del contesto strettamente umano con una adattabilità anche alle specie non umane.

Capitolo 3

Materiali e metodi

Negli ultimi anni l'Esperto Qualificato dell'azienda U.S.L. Area di Forlì, dott. Gianluigi Giorgetti, ha sviluppato un modello di gestione della radioprotezione di una azienda sanitaria incentrato sullo studio delle attività a rischio radiologico ed automatizzando vari procedimenti burocratici solitamente svolti manualmente così da rendere più efficace il proprio lavoro.

3.1 Schede dati

Il software utilizzato prevede di schedare i dati inerenti ai concetti che stanno alla base della radioprotezione di una azienda sanitaria, locali, apparecchi, attività e lavoratori e tutti gli altri concetti ad essi collegati, ad esempio ruoli dei lavoratori nelle attività, controlli di qualità delle apparecchiature, misure ambientali di radioprotezione.

3.1.1 Locali

Nel sito è presente un elenco di locali/reparti dove è possibile trovare una lista delle zone classificate di tutta l'area di Forlì che, nello specifico, comprende l'ospedale G.B. Morgagni, la casa circondariale, il country hospital di Modigliana, il CUP, un ambulatorio veterinario, l'ospedale civile di Forlimpopoli e l'ospedale Nefetti di Santa Sofia. Per ogni locale delle suddette strutture è presente un report

che ne descrive una serie di aspetti come: nome, indirizzo, presidio, reparto e piano. Per ognuno di essi è inoltre allegata una planimetria che evidenzia la posizione del locale e in cui sono caratterizzate con diversi colori le aree classificate come “Zone Controllate” e “Zone Sorvegliate”. Vi è poi una relazione del locale in esame in cui vengono descritti gli ambienti limitrofi, le schermature presenti nella stanza e le apparecchiature utilizzate all’interno. Infine da ogni report è possibile accedere ai dati relativi alle misure ambientali svolte in precedenza e alle informazioni relative alle apparecchiature presenti. Le schede così create vengono rese disponibili per la consultazione ai lavoratori che ne necessitano ed inoltre vengono utilizzate per compilare alcuni dei documenti che l’Esperto Qualificato deve redigere per legge e consegnare al datore di lavoro. Ad esempio, ai sensi dell’art. 80 del D.L. 230/95 comma 1a, deve essere redatto annualmente un documento denominato “Aspetti Radioprotezionistici” e mandato a: Direttore Generale, Direttore Sanitario e Direttore Sanitario del Presidio Ospedaliero. In tale elaborato deve essere presente un capitolo che raccolga un elenco dei locali classificati ed è possibile fare ciò grazie al software che utilizza le relazioni compilate in precedenza. Inoltre l’Esperto Qualificato deve redigere un documento chiamato “Registro di radioprotezione” in cui deve riportare, anche in questo caso, i locali dove si svolgono attività a rischio radiologico. Ugualmente si può rendere automatizzato tale processo mediante il programma sopracitato.

3.1.2 Macchinari

Nella pagina <https://fiscas sanitaria.ausl.fo.it> rivolta all’area di Forlì è presente una sezione dedicata alla schede delle apparecchiature radiologiche sanitarie, ovvero che fanno uso o emettono radiazioni ionizzanti. Accedendo agli apparecchi radiologici si trova un elenco delle tipologie presenti, nelle quali sono disponibili report per ogni apparecchiatura. Ognuno di essi si apre su una pagina in cui vengono indicate alcune generalità come il codice della ditta, il responsabile dell’impianto e il responsabile della fisica sanitaria. Vi sono inoltre diverse caratteristiche: data dell’inserimento, marca, modello numero di serie e il numero di inventario dell’A.U.S.L. Ad ogni report è allegato, se presente, una copia del manuale e una

scheda con le caratteristiche del tubo radiogeno. Vi inoltre la possibilità di consultare le schede inerenti a controlli a bassa ed alta attività e alle misure ambientali fatte in precedenza, come mostrato nella seguente tabella 3.1

dati impostati					dati misurati	
locazione	tensione (kV)	corrente (mA)	tempo (msec)	mAs	dose (μGy)	rateo ($\mu\text{Gy/h}$)
vetro visiva	90	100	2000	200,00	0,0028	5,04
posizione tecnico 250cm da terra	90	100	2000	200,00	0,0028	5
Porta locale comando	90	100	2000	200,00	fondo	fondo
Porta ingresso paziente battuta porta altezza serratura	90	100	2000	200,00	0,0250	45
Parete verso corridoio paziente punto a campione	90	100	2000	200,00	fondo	fondo

Figura 3.1

E' possibile poi accedere allo storico degli interventi di manutenzione e alle attività svolte con l'apparecchio in esame. Le suddette relazioni vengono utilizzate, anche in questo caso per la compilazione dei documenti da consegnare al datore di lavoro. Nel caso di "Aspetti Radioprotezionistici" vi è infatti un capitolo dedicato alle apparecchiature presenti nelle strutture nell'area di Forlì. Il software compila il seguente documento rendendo così il processo automatizzato.

3.1.3 Attività

Per attività a rischio radiologico si intendono le operazioni svolte all'interno dei locali dell'azienda sanitaria che comportano l'impiego di radiazioni ionizzanti e quindi sottopongono i lavoratori che vi partecipano ad una dose assorbita non trascurabile. Vengono categorizzate in funzione della dose a cui sono esposti i pazienti e gli operatori, e successivamente sono state registrate in un elenco dalla quale è possibile accedere alle schede di ogni attività. In ogni scheda vi è una spiegazione dell'attività a scopo divulgativo seguito da una tabella di dati utili all'Esperto Qualificato per il calcolo della stima di dose dei lavoratori, come il numero di procedure effettuate ogni anno e le figure professionali presenti in sala. E' presente infatti il calcolo di dose a cui sono sottoposti i lavoratori che presenziano, espresso in mSv/anno, come verrà analizzato in seguito. Successivamente si può trovare lo storico delle ispezioni svolte per ogni operazione e tramite link è possibile

accedere alle schede inerenti al locale dove si svolge l'esame e le apparecchiature utilizzate. Parte dell'elenco delle attività a rischio radiologico è illustrato in figura 3.2.

n.	indice	nome	responsabile	data inizio	luogo
1	10	Linfonodo sentinella (mammella)	Folli Secondo	01/10/2005	Ospedale Morgagni Pierantoni Senologia (Ultima ispezione: 29/12/2015)
2	100	Linfonodo Sentinella (Melanoma)	Solfrini Gabriele	01/01/2013	Ospedale Morgagni Pierantoni Chirurgia TOA (Ultima ispezione: 29/12/2015)
3	11	Posizionamento di sistemi totalmente impiantabili	Mengozzi Marta	01/10/2005	Ospedale Morgagni Pierantoni Chirurgia Toracica (Ultima ispezione: 29/12/2015)
4	12	Sala operatoria di ortopedia	Lijoi Francesco	01/10/2005	Ospedale Morgagni Pierantoni Ortopedia (Ultima ispezione: 29/12/2015)
5	13	Sala operatoria di urologia	Zenico Teo	01/10/2005	Ospedale Morgagni Pierantoni Urologia (Ultima ispezione: 29/12/2015)
6	14	Endoscopia toracica	Poletti Venerino	01/10/2005	Ospedale Morgagni Pierantoni Endoscopia Toracica (Ultima ispezione: 28/12/2015)
7	16	ERCP e posizionamento protesi esofagee e enterali	Ricci Enrico	01/10/2005	Ospedale Morgagni Pierantoni Gastroenterologia (Ultima ispezione: 28/12/2015)

Figura 3.2: Elenco parziale delle attività monitorate

3.1.4 Lavoratori

Per ognuno di essi, ai fini del art. 81 D.Lgs 230/95, deve corrispondere, una scheda dosimetrica che riporti i dati raccolti dai dosimetri nei periodi di lavoro in presenza di rischio radiologico. In particolare deve essere espressa l'esposizione esterna, come misura di dose efficace total body in mSv, e l'esposizione parziale mediante la dose parziale alle parti per cui è richiesto (arto, cristallino, pelle). Nel sito è possibile trovare una sezione interamente dedicata a questa categoria in cui

da un elenco dei lavoratori si può accedere ad una scheda personale in cui sono indicate, oltre alle generalità dell'individuo, i valori sopracitati, richiesti per legge. In questo modo la scheda dosimetrica viene informatizzata e salvata sui server dell'azienda rendendo automatizzate le mansioni di compilazione. Allegato ad ogni report è inoltre presente una tabella riepilogativa dell'anno in corso così da monitorare ogni lavoratore evitando di avvicinarsi al limite di dose previsto prima di arrivare allo scadere dell'anno. Inoltre nel sito sono schedati anche lavoratori esterni all'azienda che svolgono alcune operazioni interne che li sottopongono a rischio radiologico. Infine il software calcola per ogni lavoratore classificato e per ogni nuovo operatore un valore di stima di dose così da poter procedere con la corretta classificazione. Gli algoritmi utilizzati vengono poi resi consultabili nel documento denominato "Aspetti Radioprotezionistici" correlati alle attività che svolgono le determinate figure professionali, come spiegato nel paragrafo successivo.

3.2 Calcolo della stima di dose

Il modello che si vuole analizzare in questo elaborato come già detto si basa su una struttura activity oriented che tende a focalizzare l'analisi della radioprotezione sulle attività a rischio radiologico che si svolgono all'interno di un'azienda sanitaria. Questo si evince molto chiaramente dalla configurazione che si è voluta dare ai dati necessari per il calcolo della stima di dose dei lavoratori classificati. Il programma infatti si basa su una struttura innovativa che può essere schematizzata con il modello rappresentato in figura 3.3.

L'oggetto fondamentale che sta alla base dello studio sono le attività sanitarie che espongono ad un rischio radiologico e si ha lo scopo di associare ad esse un valore stimato di dose efficace a cui sono sottoposti i lavoratori che vi partecipano. Ogni attività è quindi associata al locale dove si svolge, agli apparecchi radiologici coinvolti e ai lavoratori che ne prendono parte. Nello schema è presente una voce "ispezione e storico" che non viene utilizzata per il calcolo delle dosi ma semplicemente indica come ad ogni attività siano legati una serie di dati che fanno riferimento alle ispezioni effettuate in precedenza, come misure ambientali e con-

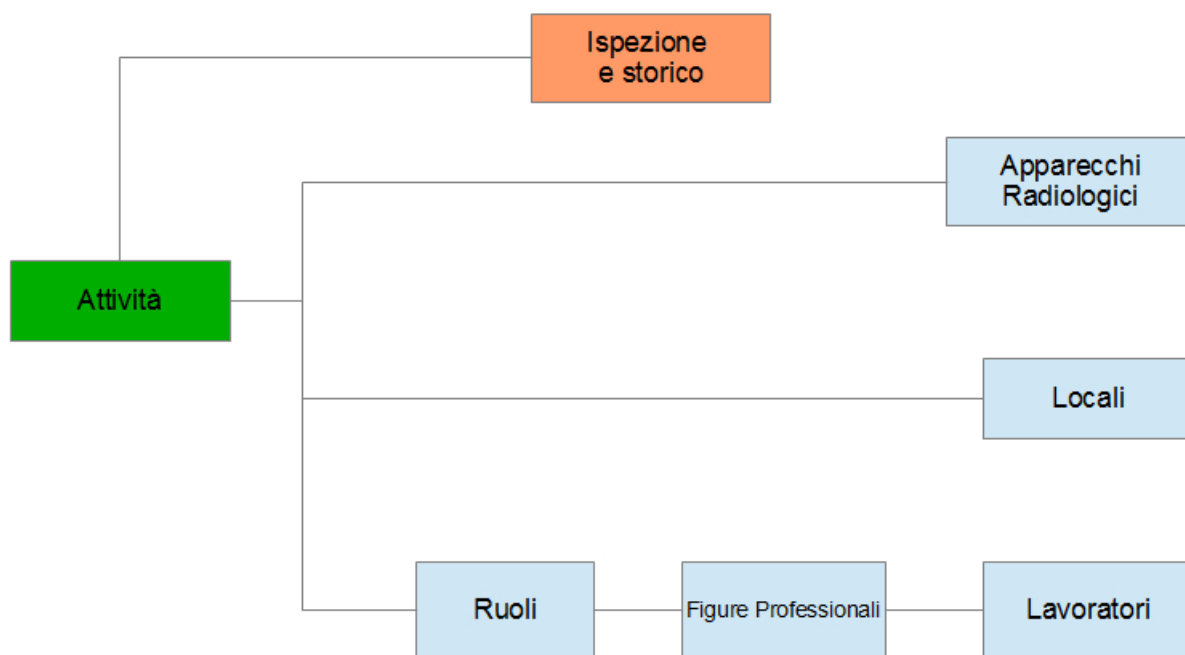


Figura 3.3

trolli di qualità legati alle apparecchiature. Tornando allo studio della dose efficace a cui sono sottoposti i lavoratori che partecipano ad una determinata attività si può notare come i due concetti non siano legati direttamente ma per mezzo di due oggetti logici. Per spiegare il primo di questi due concetti, ovvero il “ruolo”, possiamo prendere ad esempio uno schema di una sala operatoria come mostrato in figura 3.4.

Durante lo svolgimento di una attività a rischio radiologico saranno presenti in prossimità del fascio radiante, oltre al paziente, un certo numero di lavoratori che saranno tipicamente posizionati in un determinato punto della sala in cui la dose assorbita non può essere trascurata. Nello schema sopra riportato si ipotizzano tre operatori, rappresentati dai tre ruoli, che sono contraddistinti da una certa distanza D dal fascio di raggi X emessi dall'apparecchio radiogeno. Ognuno di essi corrisponde ad una mansione svolta durante un'operazione. In questo caso ipotizziamo che il Ruolo 1 rappresenti il primo chirurgo, il Ruolo 2 un chirurgo in assistenza e il Ruolo 3 un infermiere di sala. I diversi colori evidenziano che più

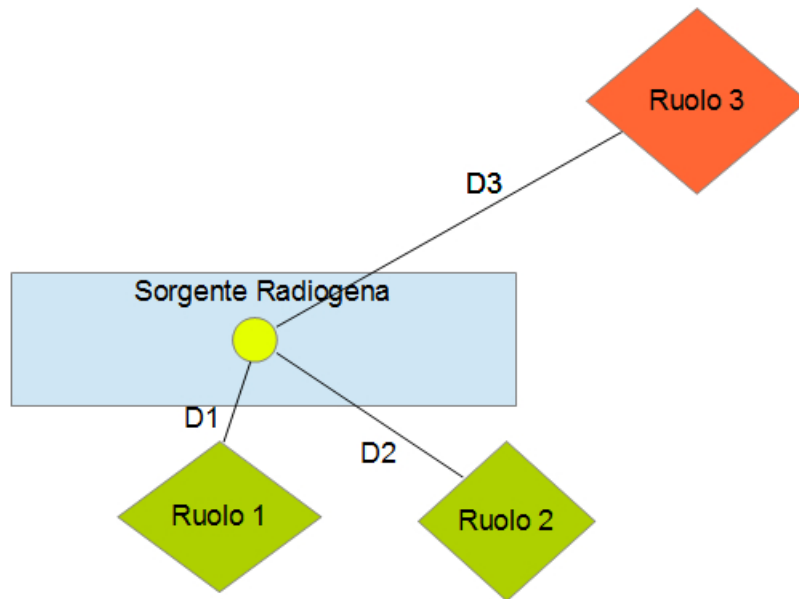


Figura 3.4

ruoli possono essere svolti da una stessa professionalità, ad esempio i ruoli 1 e 2 sono presieduti da un medico mentre il ruolo 3 da un infermiere. Il calcolo dell'apporto di dose dall'attività di un determinato ruolo può variare in base all'operazione che si sta esaminando.

- Grafia

$$D_{a,r} = \frac{N \cdot \frac{S}{3600} \cdot \dot{D} \cdot P}{L} \quad (3.1)$$

- Scopia

$$D_{a,r} = \frac{N_m \cdot \frac{S}{3600} \cdot \dot{D} \cdot P}{L} \quad (3.2)$$

- Scopia con camice

$$D_{a,r} = \frac{N \cdot \frac{S}{3600} \cdot \dot{D} \cdot P}{L \cdot F_c} \quad (3.3)$$

- Irraggiamento da radiofarmaci

$$D_{a,r} = \frac{N \cdot \frac{S}{3600} \cdot \Gamma \cdot A \cdot \frac{D^2}{100^2} \cdot P}{L} \quad (3.4)$$

dove:

$D_{a,r}$ è il valore di dose assorbita annualmente da un lavoratore che svolge una determinata attività a rischio radiologico in uno specifico ruolo [mSv/anno].

N è il numero di attività che vengono svolte ogni anno.

S sono i secondi di esposizione [s].

\dot{D} è il rateo di dose misurato ad una distanza D dal fascio irraggiante [mSv/h].

P è la percentuale di attività a cui il ruolo in esame partecipa rispetto al totale annuo.

F_c è il fattore di riduzione della dose assorbita nel caso l'operatore utilizzi un camice piombato.

Γ è la costante gamma specifica, definita come il rateo di esposizione ad un metro dalla sorgente per unità di attività, cioè, quel numero che moltiplicato per l'attività presente e diviso per il quadrato della distanza in metri dà il rateo di esposizione nel punto di interesse. [mSv/h per GBq ad 1 m].

$N_m = N \cdot F_m$ dove F_m è un fattore di maggiorazione, per tenere conto delle fluttuazioni statistiche nella turnazione, la cui entità è a discrezione dell'Esperto Qualificato. Solitamente si pone un valore pari a 1,2 così da considerare il 20% di attività all'anno.

Si ottiene in questo modo un valore di dose personale per ogni ruolo. Per il calcolo si usano valori cautelativi così da calcolare il valore massimo a cui può essere sottoposto un lavoratore durante lo svolgimento di una determinata attività. Per ovviare a questi problemi nella scelta del valore di distanza D , considerando che l'operatore può essere posizionato all'interno di un certo range, si prende il valore minimo a cui corrisponde di conseguenza la massima esposizione. A questo punto è possibile passare al secondo concetto logico che lega una attività al lavoratore, ovvero la figura professionale. Questo passaggio diventa necessario perché come spiegato in precedenza otterremo valori differenti di dose personale a seconda del ruolo, infatti è evidente come il Ruolo 1 sia caratterizzato da un valore maggiore rispetto al Ruolo 2 essendo quest'ultimo ad una distanza maggiore dal fascio irraggiante. Per questo un lavoratore non può essere assegnato ad un ruolo ma deve

essere assegnato ad una figura professionale che turna su più ruoli presenti in una determinata operazione. Inoltre una specifica professionalità partecipa solitamente a diversi tipi di attività quindi il valore di stima di dose sarà dato dalla somma dei valori ottenuti per ogni tipo di operazione svolta. Analiticamente può essere espresso come:

$$D_{pf} = \sum_i \sum_k D_{a,r,i,k} \quad (3.5)$$

dove $D_{a,r,i,k}$ è il valore di $D_{a,r}$ considerato per il k-esimo ruolo svolto nella i-esima attività compiuta da una specifica figura professionale.

Nel caso vi sia un operatore che svolge una serie di operazioni a rischio radiologico che non sono paragonabili ad altre professionalità è possibile introdurre una figura professionale specifica che contenga il solo operatore. A questo punto si può procedere con la classificazione del lavoratore confrontando il valore ottenuto con i dati espressi nel D.Lgs. 230/95 Allegato III.

Capitolo 4

Sviluppo del progetto

Da gennaio 2016 al dott. Giorgetti, in qualità di Esperto Qualificato, è stata affidata la gestione della radioprotezione dell'Azienda USL della Romagna Area Territoriale di Ravenna e ha deciso di utilizzare anche su questa azienda il modello activity-oriented fino ad allora sperimentato sull'A.U.S.L. di Forlì. Insieme abbiamo quindi iniziato un lavoro di analisi per evidenziare le differenze principali con il modello utilizzato in precedenza così da poter progettare un corretto passaggio ad un modello informatizzato e focalizzato sulle attività a rischio radiologico svolte nell'azienda. Durante le prime settimane quindi siamo andati periodicamente all'ospedale Santa Maria delle Croci, nel reparto di Fisica Sanitaria per incontrare il personale e ottenere informazioni su come veniva gestita la radioprotezione. E' risultato che in precedenza si preferiva un modello basato su schede cartacee per schedare i dati utili alla gestione della radioprotezione, allora abbiamo deciso di passare ad un modello informatizzato per facilitarne la gestione e per renderla più adatta da monitorare ora che i presidi ospedalieri su cui opera l'Esperto Qualificato coprono un'area più vasta. Inoltre abbiamo deciso di adoperare il modello activity-oriented perché l'utilizzo di tale schema sull'Azienda U.S.L. di Forlì si è dimostrata una soluzione efficace.

4.1 Raccolta dati e compilazione record

Dopo aver scelto come strutturare la gestione della radioprotezione dell'Azienda U.S.L. della Romagna Area Territoriale di Ravenna, abbiamo diviso gli elementi da monitorare nelle quattro categorie che riteniamo alla base della radioprotezione per una corretta gestione, ovvero le attività a rischio, i locali, i lavoratori e le apparecchiature radiologiche. Così nelle settimane seguenti abbiamo iniziato a raccogliere i dati necessari alla creazione dei record per ogni elemento da monitorare, visitando personalmente i reparti degli ospedali dell'area territoriale di Ravenna.

4.1.1 Locali

Per poter schedare i locali in cui si svolgono attività a rischio radiologico all'interno dell'azienda è stato necessario recuperare le planimetrie degli ospedali appartenenti all'Area Territoriale di Ravenna, che ci sono state fornite dall'ufficio tecnico dell'ospedale Santa Maria delle Croci. A questo punto abbiamo analizzato tutte le planimetrie per cercare i locali dove vengono svolte attività a rischio radiologico, controllando personalmente gli ambienti durante alcuni sopralluoghi a Ravenna. Una volta trovati tutti i locali siamo passati alla formulazione di un record per ognuno di essi. Il primo passaggio è stato quello di creare, per ogni ambiente, una cartina che ne evidenzia la posizione e le zone limitrofe, mostrando per mezzo di una determinata colorazione le zone che sono classificate come "Zona Controllata" o "Zona Sorvegliata". Come mostrato in figura 4.1. Successivamente abbiamo compilato una relazione da associare ad ogni planimetria, così che possa essere utilizzata per la compilazione dei documenti. Creati tutti i record associati ai locali dove vengono svolte attività a rischio radiologico, li abbiamo resi disponibili sul sito <https://fisicasanitaria.ausl.fo.it>, nella sezione dedicata all'area di Ravenna, in modo analogo all'Azienda USL della Romagna Area Territoriale di Forlì.

Ravenna Radiologia Sala G

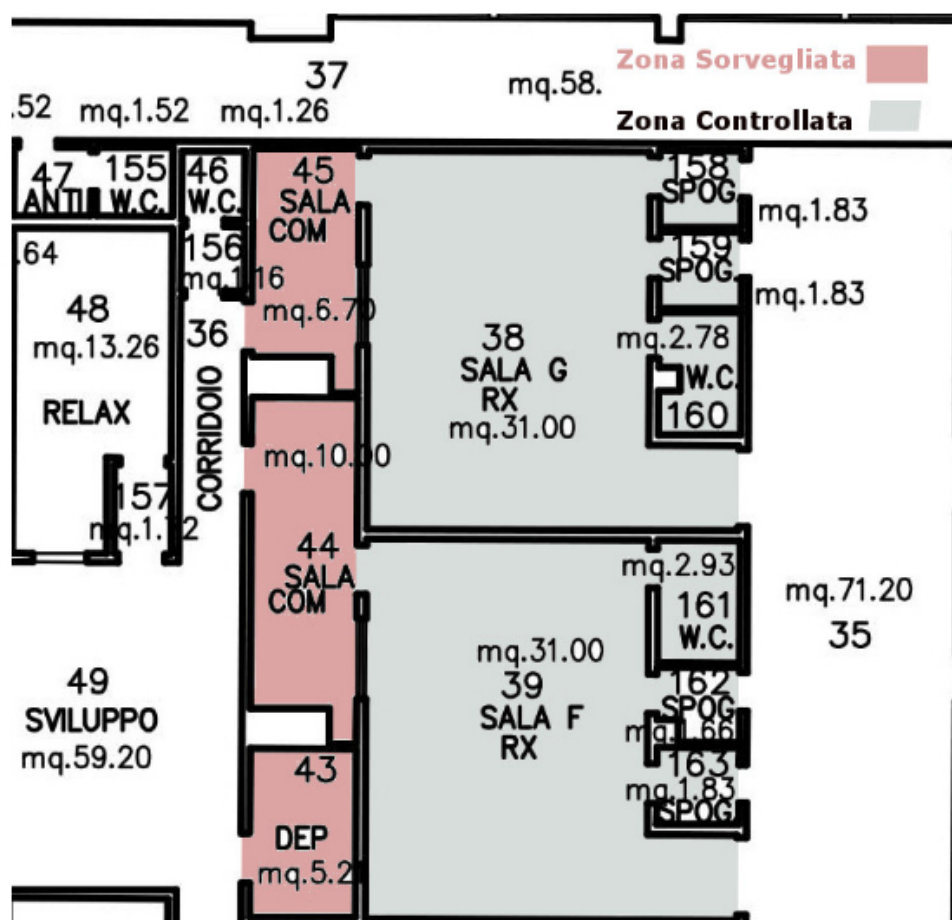


Figura 4.1: Planimetria Radiologia Ravenna

4.1.2 Macchinari

Sfruttando un elenco delle apparecchiature radiologiche presenti nell'ex Azienda Sanitaria USL di Ravenna abbiamo effettuato delle visite nei reparti interessati per controllare i macchinari. Successivamente per ognuno di essi abbiamo riportato i dati generali in una scheda elettronica così da comporre un record che permetta di schedare in futuro tutte le informazioni relative alla macchina. Un esempio è riportato in figura 4.2.

apparecchio	 00064GESenographRA51571 GE Medical System Senograph Essential (i.d. 64) 
luogo	
manuali	
accessori	
grafici	
cq lf*	
cq hf*	
ambientali*	
interventi*	
attività*	
files	<p>generalità</p> <p>directory 00064GESenographRA51571 stato ottimo codice della ditta responsabile dell'impianto carica vacante esperto in fisica medica carica vacante datore di lavoro dott. Marcello Tonini</p> <p>caratteristiche dell'apparecchio</p> <p>data di inserimento 10/02/2016 data di dismissione marca GE Medical System modello Senograph Essential n. serie 583695BU2 inv. AUSL RA51571</p>
lettere*	

Figura 4.2: Mammografo, Reparto Mammografia Ospedale Santa Maria delle Croci [RA]

4.1.3 Attività

Il lavoro necessario per raccogliere i dati inerenti alle attività che presentano un rischio dal punto di vista radiologico è stato più complesso rispetto alle altre categorie in quanto la differenza principale con la gestione precedente è data dal ruolo centrale che si vuole dare a questo concetto. Infatti è stato dedicato molto tempo a creare un elenco dettagliato di tutte le attività a rischio che si svolgono

all'interno dell'Azienda USL della Romagna Area Territoriale di Ravenna. Per fare ciò è stato necessario visitare i reparti interessati avendo così un confronto diretto con il personale sulle attività che si svolgono al loro interno, recuperando dati come il numero di volte che si svolge ogni anno una determinata attività, i lavoratori che vi partecipano, gli apparecchi utilizzati ed altre informazioni utili per valutazioni sulla radioprotezione delle operazioni in esame. Una volta terminato questo lavoro è stato possibile iniziare il caricamento dei dati sul sito. Per ogni attività è stato creato il corrispettivo record a cui poi sono state collegate le relazioni sviluppate in precedenza sugli apparecchi e sui locali. In questo modo si è iniziato ad orientare la gestione della radioprotezione dell'Area Territoriale di Ravenna verso un approccio activity-oriented. Infatti il passo successivo è stato quello di utilizzare i dati ricavati dai sopralluoghi nei vari reparti per creare un modello informatico che permetta il calcolo della stima di dose dei lavoratori, analogo a quello utilizzato nell'Azienda USL della Romagna Area Territoriale di Forlì. (vedi paragrafo 3.2) Ad esempio per il calcolo di dose annuale assorbita da un tecnico radiologo che svolge un'attività di diagnosi toracica nel reparto di radiologia dell'ospedale di Ravenna si è stimato, grazie alle informazioni ricavate dai lavoratori, che assorbe 0.0071 mSv/anno. I calcoli sono riportati successivamente. Infine i record creati, e la valutazione della stima di dose sono stati resi disponibili sul portale <https://fisicasanitaria.ausl.fo.it> così che i lavoratori interessati possano averne accesso sia per la consultazione che per la modifica dei dati sopracitati nel caso vi sia l'autorizzazione.

Calcolo della stima di dose efficace per un tecnico radiologo che svolge un'attività di diagnosi toracica nel reparto di radiologia dell'ospedale Santa Maria delle Croci di Ravenna:

I dati ricavati dopo un sopralluogo nel reparto sono:

- Vengono eseguite poco meno di 110000 scatti in grafia all'anno.
- La distanza a cui è mediamente locale l'operatore rispetto alla sorgente radiogena è di 200 cm

- A tale distanza è stata misurata una dose di $0.0024 \mu\text{Sv}$
- Gli operatori sono presenti il 100% delle volte

Si ottiene quindi, utilizzando valori cautelativi, che la dose ricevuta dal ruolo di tecnico radiologo nell'attività di radiografia al torace annualmente è

$$D_{a,r} = N \cdot D \cdot P = 110000 \cdot 0,0022 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{100}{100} = 0,264 \text{mSv/anno} \quad (4.1)$$

Il numero di lavoratori che turna su questo ruolo è 37. Quindi la dose al singolo turnante è

$$\frac{0,264}{37} = 0,0071 \text{mSv/anno} \quad (4.2)$$

Il rischio di dose calcolato per gli operatori che svolgono questa attività è pari a $0,0071 \text{ mSv/anno}$ che andrà successivamente a sommarsi ai valori ottenuti per le altre attività compiute dalla figura professionale in esame.

4.1.4 Lavoratori

Infine l'ultima categoria che abbiamo schedato è stata quella dei lavoratori, applicando una serie di modifiche rispetto alla precedente gestione che per ognuno di essi prevedeva una scheda dosimetrica cartacea in cui erano riportati i dati relativi alle misure di dose raccolte dai dosimetri e altre informazioni utili dal punto di vista radioprotezionistico. In questo caso, applicando lo stesso schema utilizzato sull'azienda di Forlì, siamo andati a creare per ogni dipendente classificato una scheda dosimetrica elettronica eliminando le precedenti copie cartacee così che il monitoraggio e la compilazione siano più facili dovendo gestire un area più vasta rispetto ad un singolo presidio. In questo modo i dati ricavati dalle misure dosimetriche vengono inviati direttamente al dott. Giorgetti e possono essere inseriti in modo automatico nelle schede dosimetriche grazie al software utilizzato. Inoltre essendo più numerosi i lavoratori classificati nell'area di Ravenna rispetto a quella di Forlì, si ha un guadagno di tempo rilevante.

4.2 Struttura dati

Per rendere più facile la registrazione e la consultazione dei dati, le quattro categorie monitorate sono state correlate fra loro in base agli usi di ogni singolo elemento. Infatti gli elenchi creati sul sito <https://fisicasanitaria.ausl.fo.it> sono stati strutturati fra loro in modo che si possa passare direttamente da un record ad uno ad esso collegato. Partendo dal ruolo centrale che è stato dato all'attività a rischio radiologico, dalla scheda in esame è possibile accedere ai report dei lavoratori che vi partecipano, dei macchinari utilizzati e dei locali dove viene svolta. Inoltre, per rendere migliore la struttura dei dati i collegamenti fra gli elementi non si limitano ad unire le attività a rischio radiologico con le altre tre categorie ma bensì sono tutti messi in relazione fra loro. In questo modo per ogni locale è possibile sapere che attività vengono svolte al suo interno, con che apparecchiature e da quali lavoratori, oppure per ogni macchinario è possibile risalire alle attività per cui viene utilizzato.

4.3 Monitoraggio dosimetrico

I lavoratori classificati, in categoria A o B, vengono costantemente monitorati per mezzo di dosimetri che permettono di esaminare la dose efficace a cui l'individuo è esposto. Nello specifico viene assegnato un dosimetro total body a tutti i dipendenti classificati e si aggiungono dosimetri agli arti e al cristallino per coloro che compiono attività a maggior rischio di esposizione per le suddette zone. Il tempo di durata dei dosimetri è di 45 giorni, e viene suddiviso così l'anno solare in 8 periodi. Allo scadere di ogni periodo i dipendenti che sono in possesso dei dosimetri devono consegnarlo ai propri referenti e così vengono raccolti e contemporaneamente distribuiti i nuovi. La gestione della dosimetria personale è affidata alla struttura di Fisica Medica dell'ospedale Bufalini di Cesena che si occupa della distribuzione e dell'analisi dati. Vengono poi inviati i risultati ai dipartimenti di Fisica Medica di ogni ospedale e sarà cura dell'Esperto Qualificato segnalarli nelle schede personali di ogni lavoratore classificato e monitorare i valori di dose registrati al fine di evitare il superamento dei limiti previsti per legge. Volendo passare

ad una gestione informatica della radioprotezione anche per il presidio di Ravenna, abbiamo deciso di creare un registro elettronico dove elencare un referente per ogni reparto interno all'azienda dove sono presenti lavoratori che utilizzando i dosimetri. In questo modo in caso di mancata restituzione, problemi nel monitoraggio, valori di dose inaspettati, trasferimenti o altre situazioni in cui è necessario un intervento è possibile avere un rapido contatto con il referente del gruppo dosimetrico e di conseguenza con il lavoratore in questione. Ho quindi contattato tutti i reparti dove vengano svolte attività a rischio radiologico degli ospedali di Lugo, Faenza e Ravenna e designato per ognuno di essi un referente, solitamente il caposala, per poi costruire il suddetto registro con numeri di telefono e indirizzi e-mail. In caso di operatori designati come referenti che però non risultano classificati è stato necessario creare una scheda personale con i dati del lavoratore, mentre nel caso di dipendenti classificati è bastato utilizzare le schede dosimetriche elettroniche già create in precedenza. Il registro è sempre consultabile sul sito <http://fisicasanitaria.ausl.fo.it>

Capitolo 5

Risultati

L'utilizzo del modello activity-oriented per una gestione informatica di una azienda sanitaria si è dimostrato efficace anche per aziende su cui non è stato sviluppato, nello specifico si possono notare una serie di miglioramenti che l'attuazione di tale modello ha portato nel gestire l'Azienda USL della Romagna Area Territoriale di Ravenna dal punto di vista radioprotezionistico. I risultati ottenuti posso essere classificati in due macro aree: i miglioramenti ottenuti grazie ad un modello fortemente informatizzato e quelli ottenuti per mezzo di una struttura dati incentrata sulle attività a rischio radiologico. Inoltre l'azienda su cui è stato applicato presenta numeri di lavoratori classificati e attività svolte sostanzialmente più elevati rispetto all'Azienda USL della Romagna Area Territoriale di Forlì, quindi si evince che tale modello possa essere utilizzato anche per vaste aziende sanitarie.

5.1 Vantaggi riportati per l'utilizzo di un modello informatico

Il passaggio ad un modello fortemente informatizzato per la gestione della radioprotezione dell'Azienda USL della Romagna Area Territoriale di Ravenna, si è rivelato fin da subito vantaggioso sotto molti punti di vista. Nello specifico l'informatizzazione di tale modello consiste nell'automatizzare tutti i lavori di compe-

tenza dell'Esperto Qualificato che possano essere resi automatici, come ad esempio l'inserimento dei dati dosimetrici nelle schede dei lavoratori, il calcolo della stima di dose, la compilazione dei documenti obbligatori per legge che devono essere consegnati al proprio datore di lavoro, schedare i dati dei controlli agli apparecchi, delle misure ambientali ed altre mansioni. Una volta sviluppato un software che permetta di automatizzare le suddette attività, si ha un immediato guadagno di tempo, infatti sull'azienda di Ravenna, essendo già stato creato il software in precedenza per l'Azienda USL di Forlì, si è fin da subito ottenuto un risparmio di tempo per lo svolgimento di determinate attività. Ad esempio, una delle operazioni su cui è più evidente è l'inserimento dei valori di dose misurati con i dosimetri nelle rispettive schede dosimetriche. In precedenza venivano utilizzate schede cartacee, quindi andavano compilate manualmente e per un totale di 750 lavoratori, presenti nell'Area Territoriale di Ravenna, il tempo impiegato era di circa 14 ore. Ad oggi il software permette di svolgere la stessa attività in 30 minuti. Il processo informatico si divide in sette fasi. Il primo passaggio è quello di trasferire automaticamente i valori di dose misurati dal foglio Excel, su cui vengo inviati, alle schede personali per poi verificare che ad ogni lavoratore corrisponda un valore di dose e che non ci siano valori in eccesso. Di conseguenza in caso di problemi si interviene con l'inserimento manuale. Vengono poi calcolate le dosi vita di ogni singolo dipendente e valutati i dati al fine di rilevare possibili superamenti dei limiti previsti per legge. Infine automaticamente ogni lavoratore classificato riceve una e-mail con i risultati relativi al suo monitoraggio. Inoltre utilizzando un software come quello sopra indicato si evince che, oltre al vantaggio di risparmiare tempo, si ha un secondo miglioramento che consiste nel ridurre la possibilità di errore. Infatti se si utilizzano metodi di controllo per evidenziare eventuali errori è possibile correggerli evitando imprecisioni che compilando le schede cartacee manualmente è possibile commettere. Questo ragionamento può essere applicato a tutte le attività che vengono rese automatiche così che il passaggio ad una gestione informatica della radioprotezione di una azienda sanitaria diventi più efficace in un tempo minore. Il software che è stato sviluppato ha anche il compito di registrare le attività svolte durante l'anno in modo da monitorare costantemente il lavoro

dell'Esperto Qualificato così da avvisare, in caso di mancato svolgimento, eventuali ritardi nell'esecuzione di controlli o altre mansioni specifiche. Infine il terzo vantaggio che si ha passando ad un modello informatico è facilitare la gestione di vaste aree territoriali, come ad esempio quella di Ravenna che accorpa anche gli ospedali di Lugo e Faenza. Una intensa informatizzazione, basata sulla creazione di un portale online che contenga i report di tutti gli elementi da monitorare, ne permette la consultazione in ogni momento e in qualsiasi luogo così che si possa costantemente controllare l'intera area territoriale e in caso di problemi si possa facilmente intervenire e , a volte, senza dover essere presenti sul posto. In questo modo si va ad agevolare anche nel caso l'Esperto Qualificato abbia la gestione di più aree territoriali perché molte mansioni possono essere fatte contemporaneamente per le varie zone. Ad esempio utilizzando schede dosimetriche cartacee è necessario compilarle nell'archivio dove vengono tenute, ovvero un luogo differente per ogni area territoriale. Utilizzando invece schede elettroniche, oltre a poterle consultare da ogni posizione, si ha il vantaggio che l'inserimento dati può essere fatto in un unico momento per tutti i lavoratori, da un'unica postazione. Inoltre avendo redatto, come descritto nel capitolo precedente, un elenco di referenti per ogni reparto si può contattare facilmente ogni singolo lavoratore in caso di anomalie nella registrazione dei dati ottenuti.

5.1.1 Formazione dei nuovi lavoratori classificati

Dopo aver analizzato i vantaggi che si possono ottenere passando ad una gestione informatica della radioprotezione di una azienda sanitaria osserviamo come si possano introdurre una serie di procedure per tutelare maggiormente i lavoratori. Ad esempio grazie al risparmio di tempo che si può ricavare automatizzando una serie di mansioni di competenza dell'Esperto Qualificato è possibile introdurre corsi di formazione individuali per i nuovi lavoratori classificati che parteciperanno quindi ad attività che comportano l'impiego di radiazioni ionizzanti. Si tratta di colloqui che possono durare indicativamente 60 minuti in cui il lavoratore che deve iniziare a svolgere operazioni a rischio radiologico si incontra con l'Esperto Qualificato e gli vengono spiegati una serie di concetti volti a renderlo maggiormente consapevole

di ciò che andrà a svolgere. Si introduce il concetto di radiazioni ionizzanti evidenziando gli effetti che possono avere sul corpo umano e successivamente si spiega come aumentare il grado di protezione del lavoratore durante lo svolgimento di tali attività. Ad esempio si illustra il funzionamento di strumenti come il camice piombato, il paratiroide ed altri oggetti che permettono di ridurre in modo sostanziale la dose assorbita dal lavoratore. Inoltre viene presentato il dosimetro che l'operatore classificato dovrà indossare, illustrandogli come posizionarlo correttamente anche nel caso si utilizzino protezioni aggiuntive come quelle sopracitate. Spiegando poi le tempistiche con cui deve essere distribuito e raccolto alla fine di ogni periodo. Grazie a questi corsi i lavoratori avranno una formazione più specifica in base alle attività a rischio che andranno a svolgere diminuendo così la probabilità di compiere errori che possono compromettere il monitoraggio dosimetrico ed evitando che si espongano in modo anomalo al fascio di radiazioni così da aumentare il valore di dose assorbita rischiando di superare i limiti previsti per legge.

5.1.2 Ispezioni nei reparti con frequenza maggiore

Impiegando il tempo che si può recuperare utilizzando un modello informatico che svolga in maniera automatica tutte le attività di competenze dell'Esperto Qualificato automatizzabili, si possono rendere più frequenti le ispezioni periodiche nei reparti in cui si svolgono attività con radiazioni ionizzanti. In questo modo è possibile avere un contatto costante e diretto con il personale, controllando anche eventuali cambiamenti nell'utilizzo di macchinari radiologici o nei locali. Inoltre incontrando periodicamente i lavoratori, ed eventualmente partecipando direttamente alle attività a rischio, possono emergere modifiche nello svolgimento che portano ad una assunzione di dose efficace differente da quella calcolata ed è così possibile modificare il calcolo di stima di dose prima che arrivino i risultati dei dosimetri, nell'arco di circa tre mesi.

5.2 Vantaggi riportati per l'utilizzo di un modello activity-oriented

Il secondo cambiamento radicale che abbiamo deciso di attuare per gestire la radioprotezione dell'Azienda USL della Romagna Area Territoriale di Ravenna è stato passare ad un modello activity-oriented. Come mostrato nei precedenti capitoli ciò consiste nello strutturare i dati in un modo schematico, andando a suddividere gli elementi da monitorare in quattro categorie focalizzando l'indagine radioprotezionistica sulle attività a rischio radiologico che si svolgono all'interno dell'azienda e collegando ad esse le altre tre categorie, ovvero locali, lavoratori e apparecchi. Questa struttura dati viene poi impiegata in tutti gli ambiti in cui è utilizzabile come , ad esempio, per costruire il modello informatico per il calcolo di stima di dose dei lavoratori classificati oppure per redigere i documenti che l'Esperto Qualificato deve compilare, ai sensi dell'art. 80 del D.L. 230/95, per il proprio datore di lavoro, che nello specifico sono: "Aspetti Radioprotezionistici" e "Registro di Radioprotezione". La scelta di organizzare in questo modo la gestione della radioprotezione di una azienda deriva dal fatto che la categoria che racchiude le attività è quella più completa e permette di collegare a sé i restanti tre campi. Diversamente orientare la struttura dei dati su locali o apparecchiature sarebbe stato più complicato e meno efficace perché più difficili da correlare fra loro. Ad esempio un modello focalizzato sui locali presenterebbe alcune problematiche. Se esaminiamo il lavoro di un tecnico radiologo, esso può lavorare ogni giorno in diagnostiche differenti compiendo attività che espongono allo stesso rischio di assorbimento di dose efficace, ma nello stesso locale si possono svolgere operazioni che espongono ad una dose differente. Queste considerazioni hanno portato a scegliere il modello activity-oriented perché risulta quello più completo ed in grado di creare una struttura dati semplice ed intuitiva. Inoltre il modello activity-oriented è stato sviluppato e migliorato negli ultimi anni dal dott. Giorgetti che lo ha utilizzato per la gestione dell'Azienda USL della Romagna Area Territoriale di Forlì. L'applicazione di tale schema per schedare i dati per il monitoraggio della radioprotezione dell'Area Territoriale di Ravenna ha portato fin da

subito alcuni miglioramenti nella gestione dell'azienda. Infatti durante il passaggio a tale modello, dovendo costruire una solida struttura dei dati andando a correlare gli apparecchi, i lavoratori e i locali con le rispettive attività sono state fatte alcune modifiche rispetto alla gestione precedente andando ad inserire nell'indagine di radioprotezione alcune figure professionali che non venivano analizzate. Ad esempio, in precedenza, nella gestione della radioprotezione non veniva analizzato l'oculista che partecipa alle operazioni di dacriocistografia nel reparto di radiologia, e questo era dovuto al fatto che la raccolta dati era legata strettamente all'aspetto radiologico senza esaminare a cosa era finalizzata l'attività. In conclusione si può quindi affermare che la soluzione utilizzata si è dimostrata efficace, rendendo la gestione dell'azienda mirata a monitorare ogni specifica attività in base al valore di dose a cui espone i lavoratori e i pazienti.

5.2.1 Dacriocistografia

Lo studio radiologico delle vie lacrimali, dacriocistografia, consiste nell'incanalare, tramite apposito catetere, uno dei canalicoli palpebrali e, una volta fissato alla cute della regione geniena, introdurre il mezzo di contrasto ed eseguire radiogrammi in serie. Lo scopo è quello di avere una visione d'insieme della via lacrimale, valutandone le eventuali anomalie e, soprattutto, ostruzioni. La durata della dacriocistografia è di circa cinque minuti. Questo tipo di operazione viene svolta circa una volta a settimana nel reparto di radiologia di Lugo, appartenente al presidio ospedaliero di Ravenna. In precedenza la gestione della radioprotezione di questo reparto si basava sullo schedare i lavoratori, medici e tecnici radiologi, e le attività svolte, divise in tac ed esami tradizionali. Volendo passare ad un modello orientato sulle attività a rischio radiologico siamo andati, nel gennaio 2016, a visitare il reparto in esame per avere informazioni dettagliate sulle operazioni che si svolgono all'interno così da poter schedare i dati utili ad un'indagine di radioprotezione. Focalizzandoci sulle attività, abbiamo scoperto che vengono svolti anche esami con liquido di contrasto, e solitamente in queste operazioni è presente il medico in sala comando, e quindi esso è sottoposto ad una dose differente rispetto ad esami tradizionali, in cui presiede nella sala refertazione. E'

così emerso che svolgono attività di dacriocistografia, con una frequenza di circa 50 esami annui. In tale operazione il medico oculista è presente in sala e si utilizza un telecomando per radioscopia, quindi è esposto ad una dose efficace non troppo elevata ma comunque non trascurabile. L'operatore, non essendo un medico radiologo, ma bensì oculista non risultava nella precedente classificazione. Di conseguenza abbiamo presieduto all'attività in esame per analizzare come si svolge e abbiamo raccolto i dati utili per calcolare il valore di dose a cui è sottoposto il medico oculista per procedere infine con la classificazione. Successivamente per completare l'attuazione del modello proposto abbiamo formato il medico sui rischi presenti operando con radiazioni ionizzanti e abbiamo analizzato come viene svolta l'attività per assicurare il corretto utilizzo dei macchinari e delle protezioni disponibili. Ulteriormente per avere un costante resoconto su come viene svolta l'operazione abbiamo informato i lavoratori del reparto e il referente dosimetrico che in caso di modifiche venga contattato l'Esperto Qualificato ed inoltre verrà presieduta da quest'ultimo con una periodicità annuale per assicurarsi il corretto svolgimento, come accade le altre attività che presentano un rischio dal punto di vista radiologico.

Bibliografia

- Storia ed evoluzione delle conoscenze scientifiche, della normativa e delle misure di prevenzione di radioprotezione in Italia, *Consulta Interassociativa Italiana per la Prevenzione*, 2011
- <https://fisicasanitaria.ausl.fo.it>
- Aspetti Radioprotezionisti, *Azienda USL della Romagna Area Territoriale di Forlì* , 2015